CHOIX D'UN TYPE D'OVRAGE

1. Introduction :

Le but de ce chapitre n’est pas de formuler des recettes permettant le choit de la structure. Il n’évoque que les principes de conception d’un ouvrage qu’il convient de respecter pour définir le domaine des solutions possibles, sachant que, bien entendu, le choix est souvent multiple.

2. Classification des ouvrages en ouvrages courants types, ouvrages courants non types et ouvrages non courant.

Les critères rappelés synthétiquement dans le tableau (2.1) sont des éléments d’appréciation permettant de classer les ouvrages dans l’une des trois catégories. Cette liste ne saurait être exhaustive.
Rappelons que le classement définitif entre ouvrages courants ou non courants résulte de l’avis de l’IGOA (Inspection Générale Ouvrage d’Art) au stade de l’APS (Avant Projet sommaire).

2.1. Ouvrage courant type

Il s’agit d’un ouvrage associé à un programme de pont type déchargeant le bureau d’études de la modélisation et d’une grande partie de la vérification de l’ouvrage. Les limites d’emploi du programme (caractéristiques de l’ouvrage, mode de construction, etc.…) sont précisées dans les guides du SETRA.

2.2. Ouvrage courant non type

Il s’agit d’un ouvrage dont les caractéristiques sont courantes selon les critères de la circulaire mais qui ne correspondent pas à celles d’un ouvrage type (hors domaine d’emploi des programmes ou structures non type) et nécessitent une modélisation complète, donc des études plus lourdes.

2.3. Ouvrage non courant

Il s’agit d’un ouvrage dont l’une au moins des caractéristiques dépasse les seuils ou ne respecte pas les critères définis explicitement par (2.2).

Type d'ouvrage	Ouvrages courants		Ouvrages non courants
	Ouvrages types	Ouvrages non types	
Cadres et portiques de type **PIFO, PICFouPOD**	• coulés sur cintres • biais modéré • faible épaisseur de remblai sur la traverse	• ouvrages préfabriqués partiellement ou totalement • Biais important • Ouvrages ripés, foncées ou poussés • Traverse précontrainte • Piédroits en palplanches multi alvéoles sauf POD • POD encastré sur appui central	• Biais très important • Ouvrages sous fort remblai
Ponts dalles en béton armé de type **PSIDA**	• Coulés sur cintres en une phase • Biais et courbure modérés • Appuis simples	• Ouvrages à plusieurs courbures • Ouvrages de largeurs fortement variable • Biais ou courbure prononcés	• Forme complexe (en Y par exp) • Phasage de construction
Ponts dalles en béton précontraint de type **PSIDP, PSIDN**	• Coulés sur cintres en une phase • Biais et courbure modérés • Appuis simples	• Ouvrages à plusieurs courbures • Ouvrages de largeurs fortement variables • Biais ou courbure prononcés	• Forme complexe (en Y par exp) • Phasage longitudinal ou transversal dalles poussées
Ponts à béquilles en béton armé ou précontraint **PSBQ**	• Sans objet	• Coulés sur cintre en une seule phase • Biais et courbures modérés • Bon sol	• Phasage longitudinal ou transversal • Fondations profondes
Ponts à poutres de type **PRAD**	• Ouvrages isostatiques ou continus • Biais et courbures modérés • Appuis simples	• Ouvrages sans entretoises ou sans chaînage • Ouvrages de largeur fortement variable • Hourdis préfabriqué • Biais ou courbure prononcés	
Ponts à poutres de type **VIPP**	• Ouvrages isostatiques • Biais et courbures modérés • Appuis simples	• Ouvrages sans entretoises • Ouvrages continus • Hourdis préfabriqué • Biais ou courbure prononcés	
Ponts à poutrelles enrobées, **PSIPAP**	• Ouvrages isostatiques ou continus • Biais et courbures modérés • Appuis simples		
Ouvrages mixtes	• Sans objet	• bipoutres	• multipoutres
Ouvrages voûtés minces	• simple arche • ouverture modeste • faible remblai	• simple arche de moyenne ouverture • multi arche de petite ouverture • remblai modéré	• grande ouverture • forte épaisseur du remblai

Tableau 2-1

2.4. Définition des ouvrages d'art non courants

2.4.1. D'une part les ouvrages répondant aux caractéristiques suivantes :

- les ponts possédant au moins une travée de 40 m de portée
- les ponts dont la surface totale et l'un des tabliers, dépasse 1200 m²
- les murs de soutènement de plus de 9 m de hauteur
- les tranchées couvertes ou semi couvertes de plus de 300 m de longueur
- les tunnels creusées ou immergées
- les ponts mobiles et les ponts canaux

2.4.2. D'autre part, tous les ouvrages ne dépassant pas les seuils précédents, mais dont la conception présente des difficultés particulières comme par exemple :

- celles provenant des terrains (fondations difficiles, remblais ou tranchées de grande hauteur, risque de glissement…)
- celles sortant des conditions d'emploi classiques (grandes buses métalliques d'ouverture supérieure à 8m, voûtes en béton d'ouverture intérieure supérieure à 9m ou dont la couverture du remblai est inférieure à 1/8ème de l'ouverture intérieure, utilisation d'un dispositif ayant pour but de limiter la charge de l'ouvrage,…)
- celles liées à des modifications de solutions types résultant de la géométrie du tracée ou des recherches architecturales (pont très biais ou à courbures prononcée,…)
- celles dues à l'emploi de techniques non codifiées et n'ayant pas fait l'objet d'un avis technique du SETRA (procédés de soutènement spéciaux,…)
- celles dues au caractère innovant de la technique ou du procédé.

Remarque :

La définition des ouvrages courants se déduit par complémentarité de celles des ouvrages non courant.

3. Principes de choix de la structure

3.1. Portée déterminante

Le critère principal permettant de définir le domaine d'emploi des différents ponts est la **portée déterminante**, c'est à dire la plus grande portée entre appuis consécutifs. Mais il est évident que d'autres critères interviennent dans le choix comme les possibilités de construction, les caractéristiques géométriques en plan, la largeur du tablier, la hauteur disponible, la nature des terrains de fondation et le coût.

Remarque :

En général, lorsque les fondations sont faciles à exécutées, notamment quand on se trouve en site terrestre où l'on peut accéder commodément, il y a des avantages à choisir des portées petites ou moyennes. Inversement, lorsque les fondations sont difficiles à exécuter, ou s'il faut fonder à grande profondeur il y a intérêt à réduire le nombre des appuis et donc à augmenter les portées.

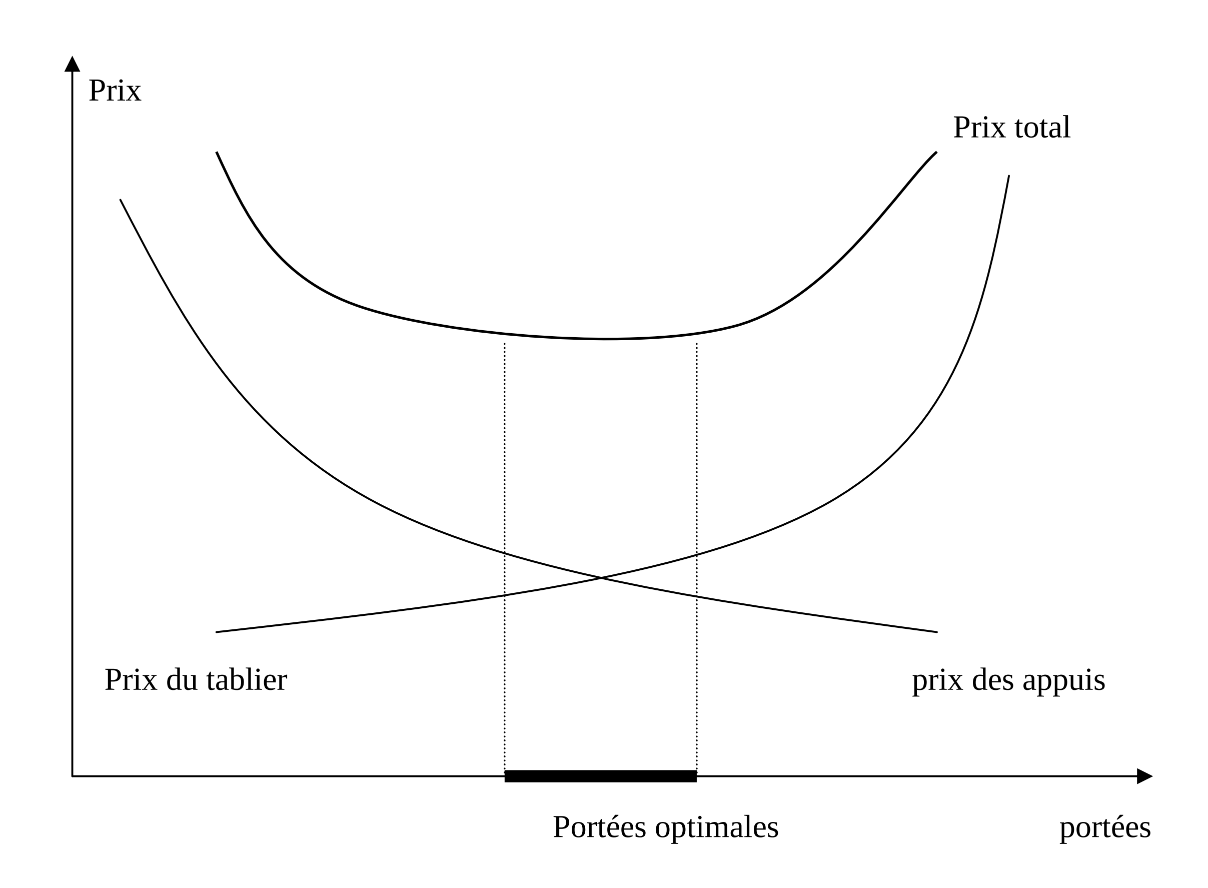


Figure 2.1: Variation du prix en fonction de la travée

Un autre élément d'appréciation dans le choix d'un type d'ouvrage est son mode de fonctionnement et son aptitude à résister aux efforts exceptionnels et accidentels tels que des chocs de véhicules hors gabarit, qui conduisent à préférer les structures plus rustiques et plus monolithiques. Par exemple, le premier passage supérieur situé après l'entrée d'un échangeur quelconque sera préférentiellement un pont dalle et servira d'écrêter pour les véhicules hors gabarit.

Du point de vue de la structure, les éléments principaux de choix du projeteur consistent à définir le nombre de travées, leurs longueurs, le balancement des travées, l'élancement du tablier, de définir le type de structure, tant longitudinalement que transversalement en se basent sur les domaines d'emploi usuels des structures.

3.2. Choix du nombre de travées

Le choix du **nombre de travées** vise à optimiser le coût de réalisation du tablier et des appuis. Plus il y a des appuis intermédiaires, plus on diminue la portée déterminante et donc le coût du tablier, mais on augmente bien entendu le coût du poste appuis. Il faut cependant respecter les contraintes d'implantation des piles et la hauteur disponible pour le tablier entre le profil en long du pont et les gabarits. En effet, pour une structure donnée, plus la portée déterminante est importante et plus l'épaisseur du tablier augmente. Le choix du nombre de travées peut également être décidé pour des questions d'aspect.

3.3. Distribution des travées

La **distribution des travées** est régie par la combinaison des contraintes d'implantation des appuis, du fonctionnement mécanique du tablier, de l'esthétique de l'ensemble et de l'économie de chaque solution.

Pour les ouvrages constitués de **travées indépendantes** multiples, on cherche à réaliser des portées égales de façon à s'orienter vers un processus de construction plus industriel car répétitif et souvent plus économique. Il s'agit essentiellement des ouvrages à poutres préfabriquées en béton précontraint par pré-tension (PRAD) ou pour des portées plus grandes par pos-tension (VIPP). Ces solutions permettent une bonne standardisation grâce à la préfabrication des poutres identiques.

Pour les **structures continues** (travées continues) de hauteur constante, d'un point de vue purement mécanique et économique, on se force aussi de réaliser des travées intermédiaires sensiblement identiques, appelées travées courantes, afin d'homogénéiser les efforts tout le long de l'ouvrage. Les travées de rive sont en générale plus courtes que les travées intermédiaires puisque l'on ne bénéfice de la réduction d'efforts due la continuité sur appui que d (un seul coté de la travée.

C'est pourquoi le **balancement** α de l'ouvrage (rapport entre la portée d'une travée de rive et celle de la travée adjacente) est limité supérieurement à 0.8 environ.

Ce rapport α peut varier de 0.6 à 0.7 pour les tablier de hauteur variable ou bénéficiant d'un effort de compression longitudinale par précontrainte pour les pont dalle de type PSIDP ou PSIDN ou, au moins partiellement, par fonctionnement structurel comme dans le cas des pont à béquilles de type PSBQ. Une liberté un peu plus grande est donnée aux ponts mixtes acier-béton puisque la répartition des matières s'adapte plus aisément aux variations de sollicitations sans pénaliser l'économie du projet.

Dans tous les cas, il convient de donner à la travée de rive une longueur suffisante pour éviter les soulèvements d'appui sur culée lorsque les charges d'exploitation agissent sur la travée adjacente. On retient alors une valeur minimale du balancement α de 0.55.

Lorsque divers impératifs conduisent à prévoir une travée de rive très courte, donc un rapport α inférieur à 0.55, il est nécessaire de prendre des dispositions pour empêcher les soulèvements d'appui d'extrémité. Il est alors possible de lester le tablier, de l'ancrer, d'avoir recours à du béton léger ou de prévoir des appuis inversés.

Dans tout les cas on évite d'avoir des réactions d'appui dont le ses s'inverse sous chargement extrêmes au droit des culées. Un tel fonctionnement serait en effet préjudiciable à la pérennité des appareils d'appui et des joints de chaussée (dont on connaît le coût important d'entretient).

D'une manière générale, deux cas de figure se présentent :

- lorsque la longueur totale du pont est fixée (implantation des culées), et si la position des appuis intermédiaires est indifférente, on a intérêt à limiter la portée déterminante dont dépendent directement les efforts et donc les quantités de matière à mettre en œuvre. On retient alors un balancement voisin du maximum pour la structure envisagée.

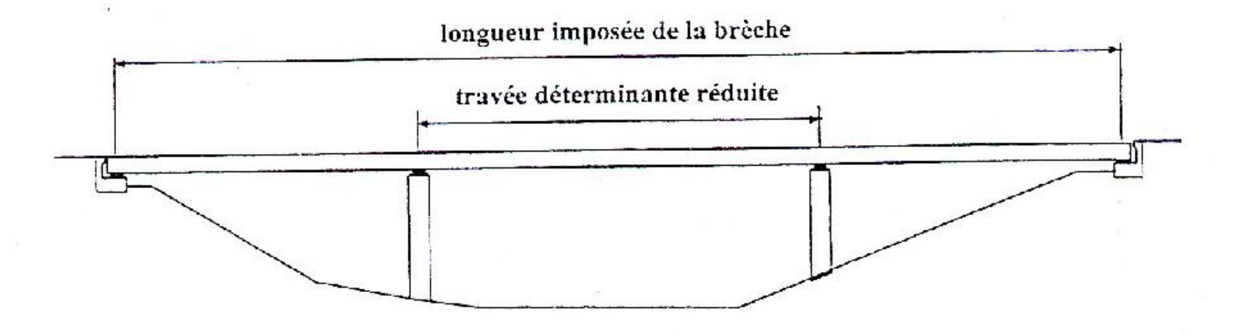


Figure 3.1.cas où la longueur du pont est fixée
Travées de rives relativement longues

- Au contraire, si la portée déterminée est fixée, par une contrainte de gabarit par exemple, les travées de rive n'ont qu'un rôle d'équilibrage et d'accès à la travée principale. On a alors intérêt à choisir un balancement minimal conduisant à des travées de rive courtes et donc à une longueur total d'ouvrage plus réduite.

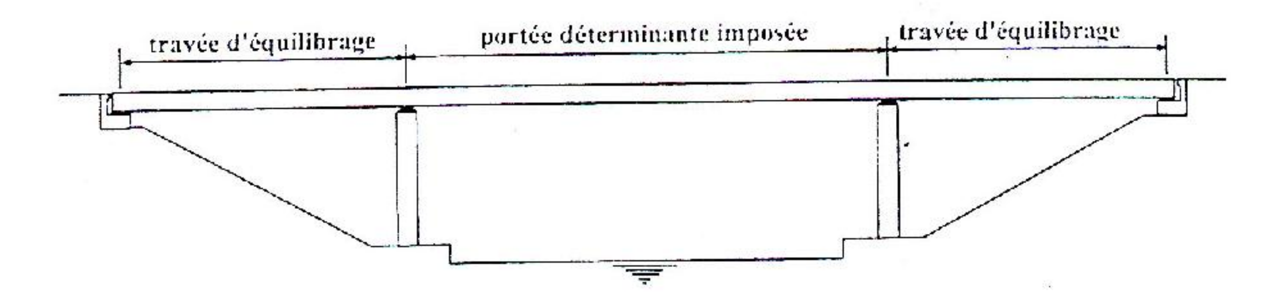


Figure 3.2 : cas où la portée déterminante du pont est fixée
(Travées de rives relativement courtes)

Le choix du balancement peut également résulter de critères esthétiques en fonction des particularités de la brèche ;

3.4. Elancement

On définit l**’élancement** comme le rapport entre la hauteur du tablier et la portée principale. On distingue les élancements sur pile et à la clé lorsque le tablier est de hauteur variable.

Pour chaque type de structures, il existe un domaine d’élancement économique, issu de l’expérience et susceptible d’évolution en fonction de la conjoncture économique des caractéristiques des matériaux utilisés.

Ce paramètre permet donc de choisir une portée admissible pour une hauteur utile fixée ou inversement de déterminer une épaisseur de tablier pour une portée donnée.

Les tableaux des pages 11 et 10 fournissent les élancements, balancements et gammes de portée pour les ouvrages types. Ces éléments sont issus des guides spécifiques de conception du SETRA, auxquels il convient de se reporter pour plus de détails (C*f*. bibliographie) ;

3.5. Structure longitudinale :

Le fonctionnement mécanique de l’ouvrage intervient également dans sa conception. On peut distinguer les cadres (PICF), les passages voûtés (PIV), ls portiques simples (PIPO ou portiques mixtes aciers-béton) ou doubles (POD), les dalles ou poutres isostatiques et les dalles ou poutres continues.

Parmi les paramètres intéressants on retient :

- l’utilisation d’une hypothèse du système pour réduire les efforts et par conséquent les quantités de matière mises en œuvre (pont cadre, portique ou poutre continue).

- la déformabilité du système pour s’adopter à d’éventuels mouvements de fondation (tassement) sans préjudice » pour la structure, obtenue par des structures minces, donc souples.

- la suppression des appareils d’appui et des joints de chaussée dans le cas des ponts cadres et des portiques.

3.6. Structure transversale :

Pour les ouvrages de faible portée, les gains de matière qui seraient permis par le choix d’une section transversale performante du point de vue mécanique seraient limités et ne compenseraient pas le coût de réalisation de formes complexes ; On préfère donc des formes simples plus économiques, même si elles n’apparaissent pas optimales sur le plan mécanique.

Au fur et à mesure de l’augmentation de la portée, afin de ne pas être trop, pénalisé par les charges permanentes, il faut choisir des structures plus légères, ou augmenter les caractéristiques mécaniques de la section en concernant la matière sur les fibres extrêmes

On passe ainsi :

- des ponts en dalle rectangulaire, utilisés de façon classique jusqu’à des portées d’une vingtaine de mètre (cadres et portiques en béton, ponts à poutrelles enrobées, ponts dalles en béton armé).
- aux dalles à charges encorbellements et aux dalles nervurées permettant d’atteindre des portées de 25 à 35 mètres (PSIDP).
- puis aux ponts à nervures, véritables poutres rectangulaires sous chaussées, utilisés de façon classique pour des portées de 30 m à 50 m.
- et plus généralement aux ponts à poutres sous chaussées : en béton précontrainte pour des portées de 30 m à 50 m (VIPP) et en ossature mixte acier-béton pour des portées plus importantes encore.

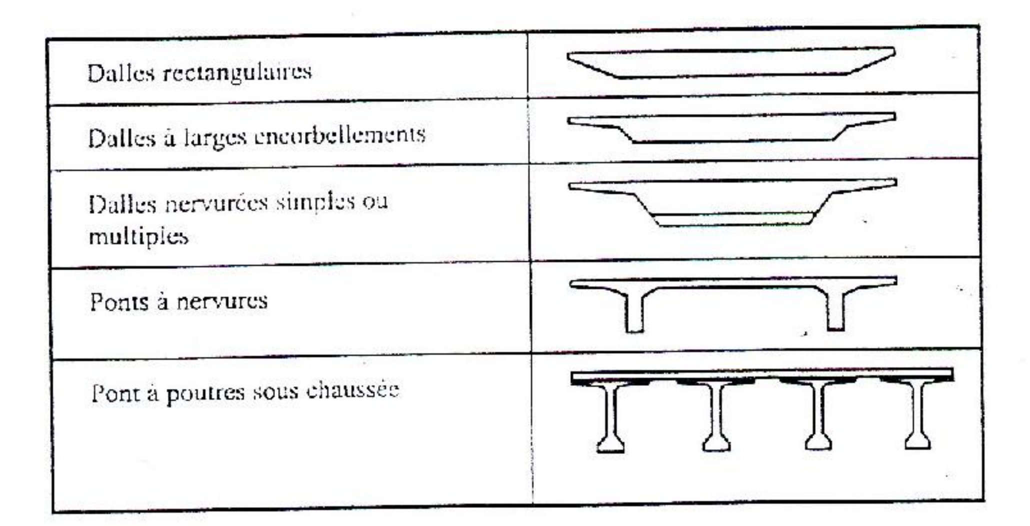


Figure 3.3 Coupes transversales des ponts en béton

C'est cette adaptation de la section transversale de l'ouvrage à sa portée déterminante qui explique que la part due au poids propre dans les sollicitations totales de la section déterminante reste comprise entre 40 % et 60 % pour tous les ouvrages de portée moyenne. Ainsi au fur et à mesure de l'augmentation des portées, on recherche une section transversale à plus grande inertie et on utilise des matériaux permettant de diminuer son poids propre.

Enfin, lorsque la hauteur disponible est insuffisante ou pour diminuer l'épaisseur du tablier, il est possible d'avoir recours à des poutres latérales métalliques ou en béton. L'épaisseur utile du tablier, c'est-à-dire celle comprise entre le profil en long et l'intrados du tablier se réduit alors à l'épaisseur du complexe étanchéité-couche de roulement, du platelage ou de la dalle et des structures secondaires (pièces de ponts ou poutres transversales) nécessaires au report des charges sur les poutres latérales porteuses.

4. Gammes de portées et élancements

4.1. Ouvrages construits sur cintres au sol

TYPE D'OUVRAGE	GAMME DE PORTEE			ELANCEMENT		OBSERVATIONS	α
	Min	domaine privilégié	Max	sur pile	à la clé		
Ouvrages en béton armé							
Cadre PICF	-	**2 à 10 m**	12 m	1/32+0.125		Epaisseur du tablier	
Portiques PIPO-POD	8 m	**10 à 20 m**	22 m	1/40+0.100		Epaisseur du tablier	Travées peu dissymétri-ques Pour POD
Pont dalle armé PSIDA	7 m 7 m 6 m	**8 à 15 m** **8 à 15 m** **8 à 16 m**	15 m 15 m 20 m	1/20 1/26 1/28		Travée isostatique 2 travées continues ≥3 travées continues	- >0.6 0.6 à 0.85
Ponts dalles précontraintes de types PSIDP							
Dalles pleines	14 m	**14 à 20 m**	25 m	1/22 à1/25 1/28 1/33		Travée isostatique 2 travées continues ≥3 travées continues	- >0.6 0.6 à 0.85
Dalles à larges encorbelle-ments	15 m	**18 à 25 m**	30 m	1/22 à 1/25 1/25 1/28		Travée isostatique 2 travées continues ≥3 travées continues	- >0.6 0.6 à 0.85
Dalle pleine poussée *	-	**10 à 20 m**	25 m	1/23		Surcoût 10 à 15 %	0.65 à 0.70
Pont en dalle nervurée de hauteur constante (≥ 2 nervures)							
Nervures larges	-	**25 à 30 m**	35 m	1/25 1/30		2 travées continues ≥3 travées continues	0.6 à 0.9
Nervures étroites	-	**25 à 30 m**	35 m	1/15 à 1/20 1/17 à 1/22		2 travées continues ≥3 travées continues	0.6 à 0.9
Pont en dalle nervurée de hauteur variable (≥ 2 nervures)							
Nervures larges	-	**35 à 45 m**	50 m	1/20 1/24	1/30 1/42	2 travées continues ≥3 travées continues	0.6 à 0.9
Nervures étroites	-	**35 à 45 m**	50 m	1/18	1/35		0.6 à 0.9
Pont à béquilles							
Pont à béquilles PSBQ	-	**20 à 40 m**	50 m	1/23 à 1/28	1/33 à 1/38	Trois travées portée en tête de béquilles	0.55 à 0.70 <0.6 avec contre-béquilles

*il ne s'agit pas d'un pont courant

4.2. Ouvrages à poutres préfabriquées

TYPE D'OUVRAGE	GAMME DE PORTEE			ELANCEMENT Poutre + hourdis	Observation	α
	Min	Domaine privilégié	Max			
PRAD Pré-tension	10 m	**15 à 25 m**	30 m	1/18 à 1/20 1/23 à 1/25	Travée isostatique travées continues	portées égales si possible
VIPP Post-tension	30 m	**35 à45 m**	50 m	1/16 à 1/18-1/20		ortées égales si possible

4.3. Ponts à structure métallique ou mixte

TYPE D'OUVRAGE	GAMME DE PORTEE			ELANCEMENT Métal seul		Observation	α
	Min	Domaine privilégié	Max	Sur pile	A la clé		
Poutrelles enrobées	-	**8 à 25 m** **10 à 30 m**		1/33(S275) 1/40(S355) 1/38(S275) 1/45(S355)		Travées isostatiques Travées isostatiques travées continues travées continues	0.7 à 0.80 0.7 à 0.80
PSIPAP	-	< 28 m < 36 m		1/38 1/38		Travées isostatiques Travées continues	0.7 à 0.80
Tablier bipoutre mixte isostatique	30 m	**50 à 80 m** (1)	90 m	1/22 à 1/25		Travées isostatiques	-
Tablier bipoutre mixte continue	30 m	**50 à 80 m**	110m	1/28		3 travées ou plus de hauteur constante	0.65 à 0.80
Tablier bipoutre mixte continu	30 m	**50 à 80 m**	110m	1/25 à 1/30	1/25 à 1/40	hauteur variable	0.65 à 0.80

(1) À partir de 40m, ces ouvrages sont non courants.